



TUGAS AKHIR - TM 141585

ANALISA PENGGUNAAN REGENERATIVE BRAKE PADA MOBIL MULTIGUNA PEDESAAN BERTENAGA LISTRIK

**PRADIPTA BINTANG PERDANA
NRP 02111340000130**

**Dosen Pembimbing
Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, MSc.PhD**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**



FINAL PROJECT - TM 141585

ANALYSIS OF APPLICATION REGENERATIVE BRAKE ON RURAL MULTIPURPOSE CAR

**PRADIPTA BINTANG PERDANA
NRP 02111340000130**

**Advisor
Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, MSc.PhD**

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2018**

ANALISA PENGGUNAAN REGENERATIVE BRAKE PADA MOBIL MULTIGUNA PEDESAAN BERTENAGA LISTRIK

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

PRADIPTA BINTANG PERDANA

NRP. 02111340000130

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, MSc.PhD (Pembimbing)
NIP. 195106051978031002
2. Dr. Agus Sigit Pramono, DEA (Penguji I)
NIP. 196508101991021001
3. Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E (Penguji II)
NIP. 196511031990021001
4. Ir. Julendra B. Ariatedja, MT (Penguji III)
NIP. 196807061999031004



SURABAYA

JANUARI, 2018

ANALISA PENGGUNAAN *REGENERATIVE BRAKE* PADA MOBIL MULTIGUNA PEDESAAN

Nama Mahasiswa : Pradipta Bintang Perdana
NRP : 02111340000130
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, MSc., Ph.D,

ABSTRAK

Pertumbuhan penduduk semakin hari semakin kendaraan bermotor semakin meningkat pula. Kendaraan berguna untuk memudahkan manusia dalam berpindah antar satu tempat dengan tempat lainnya. Padahal cadangan bahan bakar fosil semakin menipis akibat digunakan terus-menerus. Jika penggunaan bahan bakar fosil tidak dikurangi, maka dalam beberapa tahun kedepan cadangan bahan bakar akan habis. Maka dari itu perlu alternatif energi lain yang digunakan untuk menggerakkan kendaraan. Salah satunya adalah kendaraan tenaga listrik. Kendaraan listrik selain dapat mengurangi konsumsi bahan bakar juga memiliki beberapa keuntungan daripada kendaraan dengan mesin antara lain tidak ada emisi yang ditimbulkan, minim perawatan. Umumnya kendaraan listrik ditunjang dengan sistem regenerative brake. Sistem regenerative brake ini berguna untuk mengembalikan energi kinetik yang terbuang selama proses pengereman dan disimpan untuk digunakan kembali. Selain pada kendaraan listrik, regenerative brake juga dapat diaplikasikan pada kendaraan konvensional dengan bertenaga bahan bakar minyak. Jika pada kendaraan listrik penggunaan regenerative brake dapat meningkatkan jarak tempuh kendaraan, pada kendaraan bertenaga bahan bakar minyak dapat mengurangi konsumsi bahan bakar yang bertujuan meningkatkan jarak tempuh kendaraan juga dengan jumlah bahan bakar sama.

Penelitian ini menganalisa penggunaan regenerative

brake pada mobil multiguna pedesaan. Tahap pertama mencari porsi yang sesuai antara regenerative brake dengan rem mekanis dengan mencari kurva pengereman yang sesuai dengan batas maksimum kurva pengereman ideal dan batas minimum kurva pengereman standar ECE. Setelah diketahui porsi pengereman yang baik, selanjutnya dicari gaya pengereman elektrik dan pengereman mekanik. Tahap selanjutnya adalah mensimulasikan model pengereman regenerative brake pada software Matlab-Simulink. Simulasi diawali dengan memodelkan gaya-gaya yang mempengaruhi perlambatan kendaraan sehingga didapat gaya pengereman. Dari gaya pengereman akhirnya didapat torsi pengereman dan dari torsi pengereman didapat daya pengereman. Daya pengereman yang akhirnya masuk ke generator untuk dikonversikan menjadi energi listrik dan disimpan pada baterai. Tahap terakhir mencari efisiensi sistem regenerative brake dengan membandingkan energi yang tersedia dengan energi bangkitan.

Dari penelitian didapatkan porsi regenerative brake pada koefisien gesek jalan 0,8 sebesar 0,124 dengan gaya pengereman 2326,584 N. Porsi ini dapat berubah sesuai dengan koefisien gesek jalan. Energi bangkitan dari sistem regenerative brake sebesar 1,738 kWh pada koefisien gesek jalan 0,8 dengan efisiensi 51,74%.

Kata kunci : Regenerative Brake, porsi pengereman, simulasi Matlab-Simulink, Energi Bangkitan

ANALYSIS OF APPLICATION REGENERATIVE BRAKE ON RURAL MULTIPURPOSE CAR

Name : Pradipta Bintang Perdana
NRP : 02111340000130
Major : Mechanical Engineering
Supervisor : Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, MSc.PhD

ABSTRACT

Population growth is rapidly increase. This resulted in the need for motor vehicles to increase as well. Vehicle is useful to facilitate humans in moving between places with other places. Whereas fossil fuel reserves are getting thinner due to continuous use. If the use of fossil fuels is not reduced, then in the next few years the fuel reserves will be exhausted. Therefore it is necessary alternative energy used to drive the vehicle. One of them is electric vehicle. Electric vehicles in addition to reducing fuel consumption also has several advantages over the vehicle with the engine, among others, no emissions generated and minimal maintenance. Generally electric vehicles supported by the regenerative brake system. This regenerative brake system is useful for restoring wasted kinetic energy during the braking process and stored for reuse. In addition to electric vehicles, regenerative brake can also be applied to conventional vehicles with fuel oil. If on electric vehicles regenerative brake usage can increase vehicle mileage, in fuel-powered vehicles can reduce fuel consumption aimed at increasing vehicle mileage also with the same amount of fuel.

This study analyzes the use of regenerative brake in rural multipurpose car. The first stage looks for an appropriate braking portion of the regenerative brake with a mechanical brake by finding the braking curve corresponding to the maximum limit of the ideal braking curve and the minimum ECE standard bracket curve. Electrical braking is designed at the beginning of the

braking process for maximum energy to be generated. Having known the portion of good braking, then sought the force of electrical braking and mechanical braking. The next step is to simulate the regenerative brake braking model in Matlab-Simulink software. The simulation begins with modeling forces that affect the slowing of the vehicle to obtain braking force. From braking force finally obtained braking torque and from braking torque obtained braking power. Braking power that eventually goes into the generator to be converted into electrical energy and stored on battery. The last stage looks for the efficiency of the regenerative brake system by comparing the available energy with the generated energy.

From the research, the regenerative brake portion of the road friction coefficient of 0.8 is 0.124 with the braking force of 2326.584 N. This portion can be changed according to the coefficient of road friction. The generated energy from the regenerative brake system is 1.738 kWh in the friction coefficient of 0.8 with the efficiency 51.74%.

Keyword : Regenerative Brake, Braking portion, Matlab-Simulink simulation, enerated energy

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Dengan penuh syukur penulis mengucapkan “Alhamdulillah” atas segala kenikmatan yang telah diberikah Allah swt sehingga tugas akhir dengan judul “Desain dan Analisa Sistem Tenaga dan Transmisi pada Mobil Angkutan Multiguna Pedesaan Bertenaga Listrik” dapat selesai sesuai dengan harapan penulis. Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan kelulusan pendidikan Sarjana S-1 di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Penulis mengucapkan terimakasih kepada pihak yang telah membantu dalam penyusunan tugas akhir ini, antara lain:

1. Seluruh keluarga besar di rumah yang selalu memberikan dukungan, doa dan segalanya kepada saya.
2. Prof. Ir. I Nyoman Sutantra MSc., Ph.D selaku dosen pembimbing yang selalu sabar dalam memberikan masukan dan saran dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Bapak Ir. Bambang Pramujati, M.Eng,Sc., Ph.D selaku ketua jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
4. Ir Yusuf Kaelani, MSc.E. selaku dosen wali saya yang selalu membantu dalam berbagai proses akademik saya dan terimakasih atas saran-saran yang telah diberikan kepada saya.
5. Seluruh civitas akademika Jurusan Teknik Mesin yang telah ramah kepada saya selama menempuh pendidikan di kampus yang tercinta.
6. Keluarga besar M56 selaku angkatan saya yang paling saya banggakan.
7. Kakak-kakak dan adik-adik saya dikampus yang saya cintai terimakasih atas segala ilmu dan kenangannya.

Akhir kata penulis berharap tugas akhir ini dapat berguna untuk semuanya. Saya meminta maaf apabila dalam tugas akhir ini masih ditemui banyak kesalahan. Kritik dan saran yang membangun penulis harapkan agar dapat memperbaiki diri kembali.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Surabaya, Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Penelitian Terdahulu.....	5
2.2 Dasar Teori	6
2.2.1 Regenerative Brake	6
2.2.2 Mobil Listrik.....	9
2.2.3 Mobil Multiguna Pedesaan	11
2.2.4 Distribusi Gaya Pengereman	12

2.2.5 Regulasi Pengereman	15
2.2.5.1 Regulasi UN/ECE.....	15
2.2.6 Gaya-Gaya pada Kendaraan	16
2.2.6.1 Gaya Hambat Drag (F_d).....	17
2.2.6.2 Gaya Hambat Rolling (F_r).....	17
2.2.6.3 Gaya Hambat Gradien (F_g)	18
2.2.6.4 Gaya Hambat Inersia Kendaraan (F_a).....	18
2.2.6.5 Gaya Pengereman Kendaraan (F_b).....	18
2.2.6.6 Torsi Pengereman Kendaraan	18
2.2.6.7 Daya Pengereman Kendaraan	19
2.2.7 Komponen Regenerative Brake	19
2.2.7.1 Hybrid Motor-Generator.....	19
2.2.7.2 Engine Control Unit (ECU).....	20
2.2.7.3 Inverter	21
2.2.7.4 Baterai.....	21
2.2.8 Driving Cycle	22
BAB III.....	25
METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	25
3.1.1 Data Kendaraan	27
3.1.2 Driving Cycle	28
3.2 Diagram Alir Perhitungan	29
3.2.1 Diagram Alir Perhitungan Gaya dan Porsi Regenerative Brake pada kendaraan	29

3.2.2 Diagram Alir Analisa Energi Bangkitan Maksimal.....	34
3.2.2.1 Simulasi Model Kendaraan dengan Karakteristik Driving Cycle	35
3.2.3 Diagram Alir Mencari Efisiensi Sistem Regenerative Brake.....	40
BAB IV	43
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	43
4.1 Perhitungan Gaya dan Porsi pengereman pada Kendaraan	43
4.2 Analisa Energi Bangkitan Maksimal Kendaraan.....	49
4.3 Menghitung Efisiensi Sistem Regenerative Brake ...	50
BAB V	53
KESIMPULAN DAN SARAN	53
5.1 Kesimpulan	53
5.2 Saran	54
DAFTAR PUSTAKA	55

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Energi Bangkitan pada Porsi Regenerative Brake 0,03g	5
Gambar 2. 2 Proses Regenerative Braking.....	7
Gambar 2. 3 Kendaraan Akselerasi	8
Gambar 2. 4 Kendaraan Berdeselerasi	8
Gambar 2. 5 Kendaraan Listrik Motor Tak Langsung	10
Gambar 2. 6 Mobil Multiguna Pedesaan Rancangan ITS ..	11
Gambar 2. 7 Gaya pada Mobil pada Bidang Datar	13
Gambar 2. 8 Grafik Distribusi Regulasi ECE	16
Gambar 2. 9 Free Body Diagram Gaya-Gaya pada Kendaraan.....	17
Gambar 2. 10 Contoh Hybrid Motor-Generator.....	20
Gambar 2. 11 Toyota's Power Control Unit	20
Gambar 2. 12 BOSCH Inverter	21
Gambar 2. 13 BOSCH Baterai	21
Gambar 2. 14 Driving Cycle WLTP Class 1	23
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	26
Gambar 3. 2 Diagram Alir Analisa Porsi Pengereman	31
Gambar 3. 3 Diagram Alir Mencari Energi Bangkitan Maksimal	34
Gambar 3. 4 Blok Simulink Gabungan	35
Gambar 3. 5 Blok Simulink Gaya Perlambatan	36
Gambar 3. 6 Blok Simulink Gaya Hambat Drag	36
Gambar 3. 7 Blok Simulink Gaya Hambat Rolling	36
Gambar 3. 8 Blok Simulink Gaya Pengereman Kendaraan	37
Gambar 3. 9 Blok Simulink Torsi Pengereman	37
Gambar 3. 10 Blok Simulink Putaran Motor	38
Gambar 3. 11 Blok Simulink Daya Pengereman	38
Gambar 3. 12 Blok Simulink Energi yang Tersedia	39

Gambar 3. 13 Diagram Alir Mencari Efisiensi Sistem Regenerative Brake	40
Gambar 4. 1 Kurva Distribusi Pengereman Mobil Multiguna Pedesaan	46
Gambar 4. 2 Energi Bangkitan Regenerative Brake	50
Gambar 4. 3 Energi Pengereman	51

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Data Driving Cycle WLTP Class 1	23
Tabel 3. 1 Data Spesifikasi Kendaraan	28
Tabel 4. 1 Porsi Pengereman Ideal	44
Tabel 4. 2 Porsi Pengereman Standar Minimal ECE	45
Tabel 4. 3 Porsi Pengereman Kendaraan Regeneratif Roda Depan	47
Tabel 4. 4 Gaya Pengereman Kendaraan Regeneratif Roda Depan	48
Tabel 4. 5 Porsi Pengereman Kendaraan Regeneratif Roda Belakang	48
Tabel 4. 6 Gaya Pengereman Kendaraan Regeneratif Roda Belakang	49
Tabel 5. 1 Porsi Pengereman Kendaraan	53
Tabel 5. 2 Gaya Pengereman Kendaraan	53

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Pertumbuhan jumlah penduduk semakin hari semakin mengkhawatirkan. Menurut data BKKBN laju pertumbuhan penduduk di Indonesia mencapai 1,49 persen atau sekitar empat juta per tahun. Idealnya pertumbuhan penduduk sekitar satu sampai dua juta pertahun.^[1] Pertumbuhan yang sangat besar tersebut menyebabkan ledakan penduduk. Ledakan penduduk ini akan menimbulkan permasalahan baru yaitu krisis energi. Seperti diketahui manusia membutuhkan kendaraan untuk mempermudah berpindah menuju tempat satu dengan tempat lainnya. Dengan ledakan penduduk yang besar tentunya berimbas pada kebutuhan penggunaan kendaraan yang juga meningkat. Akibatnya kebutuhan akan bahan bakar sebagai sumber energi utama kendaraan juga naik. Padahal ketersediaan bahan bakar masih terbatas. Selain itu penggunaan bahan bakar fosil juga dapat menghasilkan emisi yang berbahaya untuk lingkungan

Salah satu solusi untuk mengurangi konsumsi bahan bakar fosil ditengah naiknya kebutuhan akan alat transportasi adalah dengan pemanfaatan sistem *regenerative brake* pada kendaraan. *Regenerative brake* merupakan suatu sistem pengereman elektrik yang memperlambat kendaraan sekaligus menyerap energi kinetik dari proses pengereman tersebut. *Regenerative brake* memanfaatkan energi saat pengereman yang terbuang lalu dikonversikan menjadi energi listrik oleh generator. Agar sistem *regenerative brake* dapat bekerja dengan baik tanpa mengurangi kinerja pengereman maka diperlukan porsi pengereman antara *regenerative brake* dan sistem rem mekanik. Pada umumnya, mobil listrik yang sudah diproduksi massal menggunakan *regenerative brake* untuk meningkatkan efektivitas energi yang digunakan.

Sistem *regeneratie brake* sangat cocok digunakan pada mobil multiguna pedesaan. Mobil multiguna pedesaan merupakan

mobil yang dapat melakukan empat fungsi sekaligus yakni mobil toko, mobil penumpang, mobil pengangkut barang, serta mobil produksi.^[2] Dengan adanya empat fungsi tersebut pastinya memerlukan energi yang tidak sedikit. Sistem *regenerative brake* yang digunakan dapat mengembalikan energi yang terbuang dan digunakan untuk meningkatkan jarak tempuh kendaraan

Pada penelitian sebelumnya, mengenai penggunaan *regenerative brake* pada Sepeda listrik, perangkat *regenerative brake* yang didesain hanya dapat menghasilkan energi yang sedikit dengan efisiensi yang kecil pula.^[3] Pada penelitian lain mengenai *regenerative brake*, dengan menggunakan *driving cycle WLTP* yang kurang sesuai dengan kondisi nyata. Sehingga pada penelitian ini diharapkan dapat dianalisa perangkat *regenerative brake* dengan efisiensi yang lebih baik dan dapat meningkatkan energi yang didapat sesuai dengan *driving cycle* yang mendekati kondisi nyata.

1.2 Perumusan masalah

Adapun rumusan masalah yang diambil pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana menentukan besar gaya dan porsi rem mekanis serta *regenerative braking* pada mobil multiguna pedesaan ?
2. Bagaimana menghitung energi bangkitan yang bisa ditangkap dan disimpan oleh baterai pada satu siklus *driving cycle WLTP* ?
3. Berapa efisiensi sistem *regenerative brake* tersebut ?

1.3 Tujuan penelitian

Berdasarkan perumusan masalah diatas, tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan besar gaya dan porsi rem mekanis serta *regenerative braking* pada mobil multiguna pedesaan.

2. Mendapatkan besar energi bangkitan yang bisa ditangkap dan disimpan oleh baterai pada satu siklus *driving cycle WLTP Class 1*.
3. Mendapatkan efisiensi sistem *regenerative brake* tersebut.

1.4 Batasan masalah

Agar penelitian ini lebih terarah, ada beberapa batasan masalah, yaitu:

1. Parameter kendaraan menggunakan spesifikasi kendaraan multiguna pedesaan bertenaga listrik.
2. Kendaraan yang digunakan berpenggerak roda belakang.
3. *Driving cycle* yang digunakan adalah *driving cycle WLTP Class 1*.
4. Analisa dan perhitungan tidak mencakup *controller* dan *actuator*.
5. Sistem penyimpanan hanya menggunakan baterai.
6. Massa kendaraan yang digunakan adalah massa saat kendaraan kosong dan berisi beban maksimum.

1.5 Manfaat penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah:

1. Sebagai media penelitian dan referensi pengembangan ilmu pengetahuan dunia otomotif.
2. Membantu mengembangkan sistem *regenerative brake* pada kendaraan.
3. Tugas akhir ini dapat digunakan sebagai referensi untuk rancangan sistem *regenerative brake* yang lebih baik dan dapat benar-benar diaplikasikan.

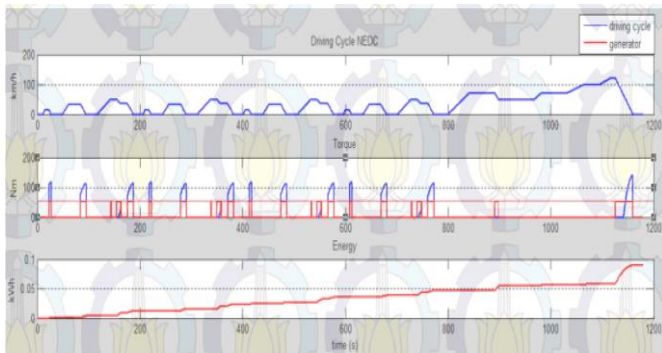
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Penggunaan *regenerative brake* sebelumnya telah diteliti oleh Gito Wijaya pada tahun 2014 dengan tugas akhir berjudul “Analisa Gaya Pengereman dan Energi yang Dibangkitkan dengan Porsi Regenerative Braking”. Pada tugas akhir ini dicari porsi *regenerative braking* yang cocok pada kendaraan *GEA passenger car*. Penelitian dilakukan berdasarkan *driving cycle NEDC* dan disimulasikan pada *software Matlab-Simulink*.



Gambar 2.1 Energi bangkitan pada porsi *regenerative brake* 0,03g

Hasilnya dalam satu siklus *driving cycle NEDC*, daya yang mampu dibangkitkan sebesar 2666 Watt dengan nilai energi bangkitan 0,08924 kWh dengan porsi *regenerative brake* sebesar 0,03 g yang didesain beroperasi pada awal proses pengereman dan terletak pada roda bagian depan. Selain itu dari penelitian ini didapatkan juga porsi pengereman mekanik pada roda bagian depan 0,65 g dengan torsi pengereman minimum sebesar 1111,04136Nm, sedangkan pada roda bagian belakang sebesar 0,22 g dengan torsi pengereman minimum sebesar 376,0447Nm.

Analisa pembagian porsi pengereman ini sesuai dengan ECE Braking regulation.^[4]

Penelitian lain adalah “Analisa Pengaplikasian Sistem ‘KERS’ pada Bus Transjakarta dengan Sistem Penyimpanan pada Baterai” yang disusun oleh Christopher Resza Barawadya pada tahun 2016. Tugas Akhir ini meneliti penggunaan *regenerative brake* dengan pemodelan bus Transjakarta dan mengikuti *driving cycle* rute Pulogadung-Monas. Hasilnya dari penelitian ini total energi pengereman yang tersedia sebesar 3,742 kWh lalu energi pengereman yang dapat dimanfaatkan sebesar 2,8947 kWh dan energi yang dapat ditangkap sebesar 2,6052 kWh.^[5]

Penelitian terdahulu tentang *regenerative braking* dilakukan oleh Liang Zheng dari Harbin Institute of Technology Shenzhen China. Analisa terlebih dulu mendesain porsi pengereman pada roda bagian depan dan belakang dan dilanjutkan dengan mengoptimalkan sistem kontrol yang tepat untuk *regenerative brake* yang berdasarkan *driving cycle* UNECE R13. Zheng mendesain porsi *regenerative brake* pada awal pengereman dengan porsi $0 < g < 0,16$ dan dilanjutkan pengereman mekanis. Dengan total energi yang dikonsumsi sebesar 0,6105 kWh, energi pengereman 0,1863 kWh dan energi yang bisa dibangkitkan sebesar 0,1136 kWh dengan efisiensi 60,95%. Hasil simulasi menunjukkan bahwa strategi kontrol yang tepat akan meningkatkan efisiensi energi yang dapat diserap.^[6]

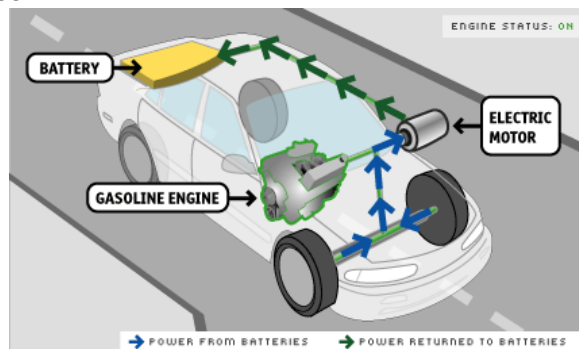
Dari beberapa penelitian diatas yang telah dilakukan, dapat diketahui energi yang diserap oleh sistem *regenerative brake* cukup besar daripada dibiarkan terbuang sia-sia dengan pengereman mekanik. Energi ini dapat dimanfaatkan untuk keperluan kendaraan lain yang dapat mengurangi konsumsi bahan bakar kendaraan. Baiknya sistem *regenerative brake* ini dapat digunakan pada berbagai macam mobil.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Regenerative Brake

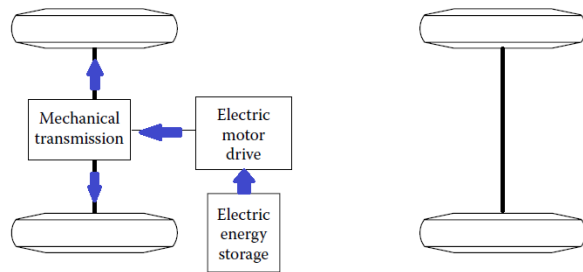
Regenerative brake adalah suatu sistem pengereman yang mampu menyerap energi saat pengereman untuk dimanfaatkan untuk kebutuhan lain pada kendaraan. Sistem *regenerative brake* yang biasa digunakan adalah sistem mekanik dan elektrik. Pada sistem *regenerative brake* mekanik, energi yang diserap disimpan pada *flywheel* dan digunakan untuk membantu mesin dalam proses akselerasi kendaraan. Sementara pada *regenerative brake* elektrik energi yang diserap diubah menjadi energi listrik melalui generator dan disimpan pada baterai. Pada sistem *regenerative brake* elektrik ini energi yang disimpan dapat digunakan untuk membantu akselerasi kendaraan maupun untuk menyalakan sistem kelistrikan pada kendaraan seperti lampu, *air conditioner*, dan lain-lain.

Besarnya energi yang mampu disimpan dipengaruhi oleh seberapa besar perlambatan yang terjadi pada kendaraan. Penggunaan *regenerative brake* pada kendaraan bermanfaat untuk dapat mengurangi konsumsi bahan bakar tersebut. Teknologi terbaru *regenerative brake* yang dikembangkan oleh Ford pada mobil dengan *gasoline engine* dapat mengurangi konsumsi bahan bakar hingga 30 %.^[6]



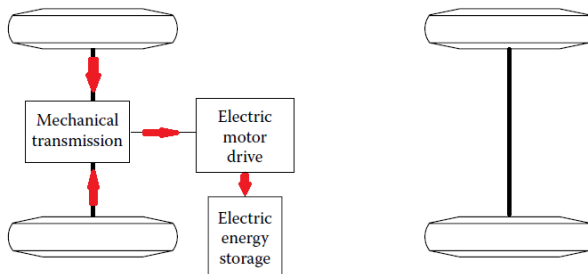
Gambar 2.2 Proses *regenerative braking*

Umumnya pada mobil listrik yang dijual bebas, sistem pengeremannya sudah menggunakan *regenerative brake*. Pada saat perlambatan, energi kinetik yang terbuang diserap oleh *regenerative brake* dan dialirkan ke motor-generator. Generator akan mengubah menjadi energi listrik yang selanjutnya disimpan pada baterai.^[7]



Gambar 2.3 Kendaraan berakselerasi

Ketika mobil listrik berakselerasi, energi listrik yang disimpan pada baterai mengalir menuju motor. Motor mengkonversikan energi listrik menjadi energi kinetik. Energi kinetik ini selanjutnya melewati sistem transmisi kendaraan dan menggerakkan roda penggerak, sehingga kendaraan berakselerasi.^[8]



Gambar 2.4 Kendaraan Berdeselerasi

Saat mobil membutuhkan perlambatan, roda yang berputar menyalurkan energi kinetik menuju sistem transmisi kendaraan. Energi tersebut akan menggerakkan motor yang telah berubah menjadi generator sehingga menghasilkan energi listrik. Energi tersebut selanjutnya disimpan pada baterai. Disisi lain kendaraan juga melambat karena putaran roda terbebani oleh generator.^[8]

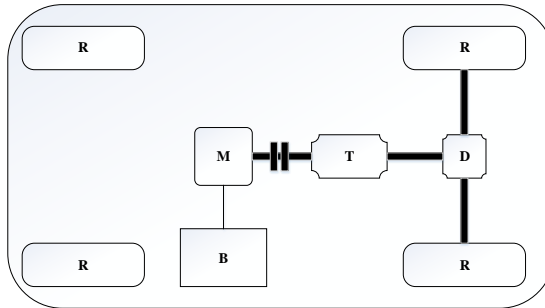
Desain *regenerative brake* mengacu dengan kebiasaan pengereman kendaraan serta karakteristik kendaraan seperti kecepatan kendaraan, perlambatan kendaraan, serta energi pengereman yang digambarkan dengan *driving cycle*. Dalam memaksimalkan penggunaan *regenerative brake* perlu ditambah dengan sistem rem mekanis. Penambahan sistem rem mekanis ini bertujuan untuk membantu perlambatan kendaraan agar proses pengereman tetap aman. Selain itu dengan adanya sistem rem mekanis dapat meningkatkan efisiensi penyerapan energi oleh *regenerative brake*.

2.2.2 Mobil Listrik

Kendaraan listrik merupakan sebuah solusi dari langkanya bahan bakar minyak sebagai sumber tenaga kendaraan. Kendaraan listrik memiliki efisiensi lebih tinggi daripada kendaraan dengan mesin. Akan tetapi kendaraan listrik masih memiliki keterbatasan daya jelajah karena energi listrik yang dapat disimpan pada accu atau baterai masih kecil dibanding berat dibandingkan dengan energi yang disimpan pada tangki bahan bakar minyak.

Kendaraan listrik dibagi menjadi 2 model yaitu kendaraan listrik menggunakan motor tak langsung yaitu hanya memakai satu motor dan yang kedua adalah kendaraan listrik dengan motor langsung yaitu menggunakan 2 atau 4 motor listrik yang langsung menempel pada roda penggerak. Kendaraan listrik dengan motor tak langsung konsepnya sama dengan kendaraan menggunakan mesin biasa. Transmisi yang digunakan sama dengan kendaraan biasa. Motor listrik pada kendaraan ini menggantikan fungsi dari

mesin pada kendaraan biasa, jadi energi kinetik dari motor listrik ditransmisikan oleh sistem penyalur daya menjadi gaya dorong pada roda penggerak.^[9]



Gambar 2. 5 Kendaraan Listrik Motor Tak Langsung

Desain dari kendaraan listrik dengan baterai dan dengan motor tidak langsung terlihat seperti pada gambar 2.3. Dimana keterangan dari gambar adalah, R= roda, M= motor listrik, T= transmisi, B= battery. Kendaraan seperti diatas menggunakan satu motor listrik, dimana motor mendapat energi listrik dari accu atau baterai, lalu motor listrik menghasilkan energi kinetik yang kemudian ditransmisikan oleh sistem transmisi dan sampai ke roda belakang. Karakteristik traksi dari kendaraan listrik dengan motor tak langsung adalah sama dengan pada kendaraan dengan menggunakan mesin. Tenaga dari baterai atau accu disalurkan melalui pengendali daya ke motor listrik sesuai dengan kebutuhan. Torsi dari motor listrik dirubah menjadi gaya dorong kendaraan oleh penyalur daya melalui kopling, transmisi dan gardan. Karena sistem dari penyalur dayanya sama dengan kendaraan menggunakan mesin, maka proses transmisi dan transformasi daya dan torsi sama dengan kendaraan dengan mesin.^[9]

2.2.3 Mobil Multiguna pedesaan

Mobil GEA

GEA adalah merek mobil Indonesia yang dibuat oleh PT INKA (Industri Kereta Api). GEA merupakan singkatan dari Gulirkan Energi Alternatif.



Gambar 2.6 mobil Multiguna Pedesaan Rancangan ITS

Mobil GEA ini didesain dengan diameter ban berukuran 13 inci ini merupakan mobil mini, dashboard-nya didesain minimalis. Panel kecepatan diletakkan di bagian tengah. Dalam panel ada jarum penunjuk kecepatan, indikator bahan bakar, temperatur, oli, dan lampu.

Mobil GEA ini selanjutnya dikembangkan menjadi mobil multiguna pedesaan ITS dengan beberapa perubahan yang mendukung pemanfaatan kendaraan sebagai mobil pedesaan antara lain penambahan box pada bagian belakang yang dapat dibongkar pasang sesuai kebutuhan. Desain awal kendaraan ini menggunakan mesin berbahan bakar bensin dengan kapasitas 640cc.

Mobil multiguna pedesaan ini selanjutnya banyak dilakukan objek penelitian untuk dikembangkan menjadi lebih baik lagi. Terakhir penggerak mobil diubah menjadi motor listrik yang dilatar belakangi keterbatasan bahan bakar minyak pada masa

depan. Mobil multiguna pedesaan dengan penggerak motor listrik ini yang menjadi acuan penelitian ini.

2.2.4 Distribusi gaya pengereman

Jumlah energi yang dapat dibangkitkan pada saat proses pengereman tergantung dari besarnya *regenerative braking* yang bekerja pada kendaraan. Untuk mendapatkan jumlah energi pengereman yang maksimum, maka harus dilakukan analisa dan perhitungan awal terhadap distribusi gaya pengereman yang terjadi pada roda bagian depan dan roda bagian belakang. Gaya pengereman di kedua roda pada kendaraan memiliki suatu rasio tetap yang dibatasi oleh nilai koefisien gesek dari lintasan yang dilalui dan jumlahnya harus seimbang dengan beban normal pada roda kendaraan, sehingga roda kendaraan bagian depan dan bagian belakang pada kendaraan tersebut mendapatkan gaya pengereman maksimum secara bersamaan.^[10] Didapat penjumlahan gaya pengereman pada roda bagian depan dan roda bagian belakang harus sama dengan nilai koefisien gesek (μ) tersebut, yaitu :

- Gaya rem total :

$$F_b = F_{bf} + F_{br} \dots\dots\dots (2.1)$$
- Gaya rem maksimum:

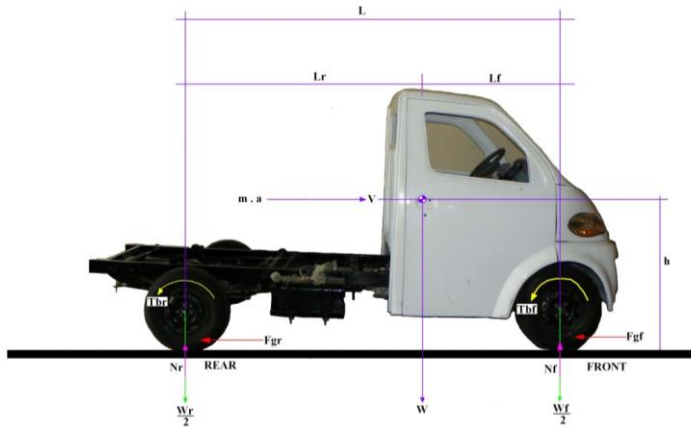
$$F_{b \max} = F_{bf \max} + F_{br \max}$$

$$= \mu (W_f + W_r)$$

$$= \mu \cdot W \dots\dots\dots (2.2)$$

Sehingga

$$\mu = \frac{F_{bf}}{W} + \frac{F_{br}}{W} \dots\dots\dots (2.3)$$



Gambar 2.7 Gaya pada Mobil pada Bidang Datar

Selama pengereman terjadi perpindahan beban dari sumbu belakang (ban belakang) ke sumbu depan kendaraan. Dengan memperhatikan keseimbangan momen melalui titik tumpu depan dan belakang, gaya normal di depan W_f dan belakang W_r serta dengan menganggap θ kecil, dapat dihitung sebagai berikut:

$$W_f = \frac{W}{L} \left(L_r - \frac{a}{g} h \right) \dots\dots\dots(2.4)$$

dan

$$W_r = \frac{W}{L} \left(L_f + \frac{a}{g} h \right) \dots\dots\dots(2.5)$$

Distribusi sistem pengereman yang akan dirancang bertujuan agar terjadi keseimbangan gaya pengereman pada roda bagian depan (F_{bf}) dan roda bagian belakang (F_{br}) dengan beban normal, sehingga kendaraan tetap berada dalam kondisi stabil saat berkendara, maka kita dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\frac{Fb_f}{Fb_r} = \frac{W_f}{W_r} = \frac{W/L(L_r + \frac{a}{g}h)}{W/L(L_f - \frac{a}{g}h)} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

W : Total beban normal pada suatu kendaraan (N)

If : Jarak titik pusat kendaraan ke roda bagian depan (m)

Ir : Jarak titik pusat kendaraan ke roda bagian belakang (m)

L : Jarak roda depan dan roda belakang (m)

m : Massa kendaraan (kg)

a : Perlambatan kendaraan (m/s²)

h : Jarak titik pusat kendaraan ke pusat roda kendaraan (m)

Saat kendaraan melakukan pengereman, maka akan terjadi perlambatan pada kendaraan tersebut :

$$a = \frac{Fb_f + Fb_r}{m} \dots\dots\dots(2.7)$$

Nilai perlambatan pada suatu kendaran dapat digunakan untuk mendapatkan bentuk distribusi dari besarnya masing-masing gaya pengereman pada roda bagian depan dan roda bagian belakang, kita dapat menggunakan batas maksimum dari nilai koefisien gesek lintasan sebagai jumlah totalnya, yaitu :

$$\frac{Fb_r}{W} = \mu - \frac{Fb_f}{W} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dengan menggabungkan kedua persamaan diatas, kita akan mendapatkan grafik distribusi gaya pengereman ideal pada roda bagian depan dan roda bagian belakang.

Secara umum, suatu kendaraan juga memiliki gaya pengereman aktual yang telah disesuaikan dengan pemakaiannya, dimana gaya pengereman pada roda bagian depan dan roda bagian belakang telah didesain dengan nilai yang tetap.

$$\beta = \frac{F_{bf}}{F_b} \dots \dots \dots (2.9)$$

Jika proses pengereman terjadi di daerah dimana distribusi gaya pengereman aktual berada di bawah distribusi pengereman ideal, maka roda bagian depan terkunci terlebih dahulu, sedangkan jika pengereman terjadi di daerah dimana distribusi gaya pengereman aktual berada di atas distribusi gaya pengereman ideal, maka roda bagian belakang yang akan terkunci terlebih dahulu. Saat roda bagian belakang yang terkunci terlebih dahulu, kendaraan tersebut akan kehilangan kestabilan karena kemampuan roda bagian belakang tersebut untuk melawan gaya dorong dari samping akan hilang.

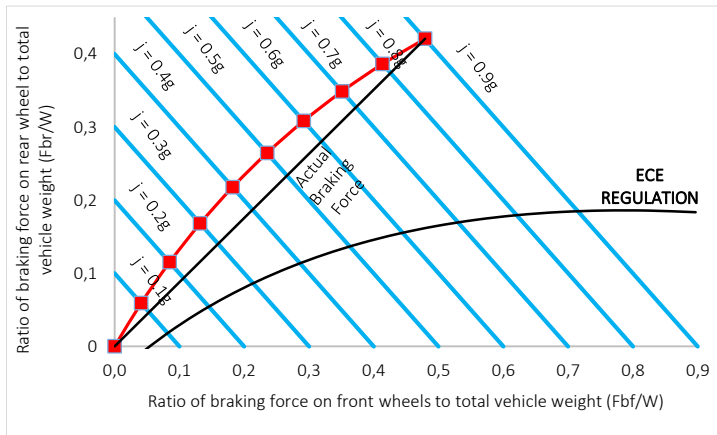
2.2.5 Regulasi Pengereman

2.2.5.1 Regulasi UN/ECE

Jika distribusi gaya pengereman aktual berada dibawah kurva ideal maka roda depan akan mengunci terlebih dahulu daripada roda belakang. Saat roda depan mengunci, maka roda belakang menerima gaya pengereman minimum. Untuk alasan keamanan, maka regulasi pengereman terus dikembangkan. Dalam hal ini ECE mensyaratkan ketentuan seperti pada persamaan 2.18.

$$\frac{F_{bf}}{W_f} \geq \frac{F_{br}}{W_r} \dots \dots \dots (2.10)$$

Dari persamaan 2.18 diatas, roda belakang tidak pernah mengunci sebelum roda depan. Dengan kata lain, pengereman selalu berada dibawah kurva Ideal seperti pada gambar 2.6.



Gambar 2.8 Grafik Distribusi Regulasi ECE

Oleh karena itu distribusi gaya pengereman aktual selalu berada dibawah distribusi gaya pengereman ideal. Ketika roda bagian depan terkunci, maka menurut *ECE braking regulation*, gaya pengereman pada roda bagian belakang harus dapat membuat kendaraan untuk bisa menghasilkan nilai perlambatan yang lebih besar dibandingkan dengan perlambatan pada persamaan :

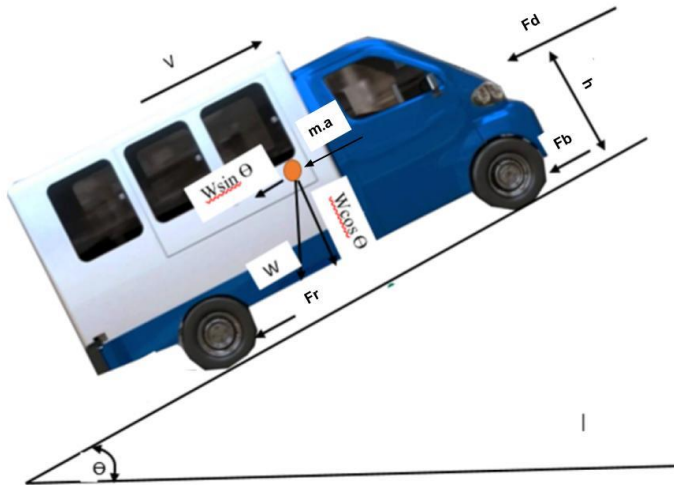
$$\frac{a}{g} \geq 0,1 + 0,85 (\mu - 0,2) \dots \dots \dots (2.11)$$

Persamaan diatas yang kemudian digunakan untuk menentukan nilai minimal dari gaya pengereman kendaraan serta membentuk kurva ECE, maka penempatan distribusi pengereman yang baik dan disarankan oleh *ECE brake regulation* adalah distribusi gaya pengereman yang terletak diantara distribusi gaya pengereman ideal dan distribusi pengereman ECE.

2.2.6 Gaya-Gaya pada Kendaraan

Gaya-gaya yang bekerja pada kendaraan meliputi gaya hambat berupa gaya hambat aerodinamis, gaya hambat rolling, serta gaya hambat gradien. Selain itu ada gaya inersia perlambatan sebagai

hasil percepatan atau perlambatan kendaraan. Gaya-gaya tersebut yang nantinya akan berpengaruh pada gaya traksi kendaraan maupun gaya pengereman kendaraan. Gaya-gaya tersebut sesuai dengan gambar 2.7.



Gambar 2.9 Free Body Diagram Gaya-Gaya pada Kendaraan

2.2.6.1 Gaya Hambat *Drag* (F_D)

Besarnya gaya hambat drag dipengaruhi oleh kecepatan relatif udara terhadap kendaraan (V); massa jenis udara (ρ); luas frontal kendaraan (A) dan koefisien *drag* (C_D). Karena udara dianggap diam maka kecepatan relatif udara terhadap kendaraan sama dengan kecepatan kendaraan itu sendiri. Gaya hambat drag dituliskan dengan persamaan :

$$F_D = \frac{1}{2} C_d \rho v^2 A \dots \dots \dots (2.12)$$

2.2.6.2 Gaya Hambat *Rolling* (F_r)

Gaya hambat rolling terjadi akibat gesekan antara roda terhadap jalan yang besarnya dipengaruhi oleh *rolling coefficient*

(C_f); berat kendaraan (W). Gaya hambat rolling ditulis dalam persamaan 2.13.

$$F_r = m g C_f \dots\dots\dots(2.13)$$

2.2.6.3 Gaya Hambat Gradien (F_g)

Gaya hambat *gradien* terjadi saat kendaraan menanjak yang besarnya dipengaruhi oleh berat kendaraan dan sudut tanjakan. Gaya hambat gradien ditulis dalam persamaan 2.14.

$$F_g = m \cdot g \cdot \sin \theta \dots\dots\dots(2.14)$$

2.2.6.4 Gaya Hambat Inersia Kendaraan (F_a)

Gaya hambat inersia merupakan gaya hambat yang terjadi saat kendaraan diakselerasikan dari kecepatan rendah hingga tinggi atau sebaliknya dan arahnya berlawanan dengan arah gerak kendaraan. Gaya hambat inersia ditulis dengan persamaan :

$$F_a = m \cdot a \dots\dots\dots(2.15)$$

2.2.6.5 Gaya Pengereman kendaraan

Gaya pengereman kendaraan merupakan total gaya gaya hambat yang bekerja terhadap kendaraan pada saat kendaraan melakukan perlambatan, yang didapat dari FBD pengereman seperti pada persamaan 2.16.

$$F_b = F_a - F_D - F_r - F_g \dots\dots\dots(2.16)$$

2.2.6.6 Torsi Pengereman kendaraan

Torsi pengereman yang terjadi pada roda kendaraan didapat dari perkalian antara gaya pengereman terhadap jari-jari roda kendaraan seperti pada persamaan 2.17.

$$T_b = F_b \times r_{dyn} \dots\dots\dots(2.17)$$

Sementara torsi motor yang digunakan dalam proses pengereman regeneratif sesuai dengan persamaan

$$Tb = \frac{Fb \times r}{It \times Ig \times \eta} \dots\dots\dots(2.18)$$

2.2.6.7 Daya Pengereman kendaraan

Daya pengereman yang terjadi pada kendaraan didapat dari perkalian antara torsi pengereman terhadap kecepatan sudut pada motor mengikuti driving cycle yang ada seperti pada persamaan :

$$Pb = Tb.\omega_{roda} \dots\dots\dots(2.19)$$

$$\omega_{roda} = V/R_{dyn} \dots\dots\dots(2.20)$$

$$\omega_{motor} = \frac{V \times It \times Ig}{\pi \times r} \dots\dots\dots(2.21)$$

2.2.7 Komponen Regenerative Brake

2.2.7.1 Hybrid Motor-Generator

Hybrid Motor-Generator adalah salah satu komponen *regenerative brake* yang berguna untuk mengkonversikan energi pengereman dari roda menjadi energi listrik yang selanjutnya disimpan pada baterai maupun sebaliknya. Ketika terjadi pengereman, *Hybrid Motor-Generator* akan berfungsi sebagai generator yang mengubah putaran pada roda menjadi energi listrik untuk selanjutnya disimpan pada baterai. Sedangkan ketika kendaraan melakukan akselerasi, *Hybrid Motor-Generator* akan berfungsi sebagai motor yang mengubah energi listrik yang sebelumnya tersimpan pada baterai menjadi energi mekanik dan menggerakkan roda dengan *engine*. Perubahan fungsi dari generator menjadi motor maupun sebaliknya diatur oleh *Engine Control Unit (ECU)*.



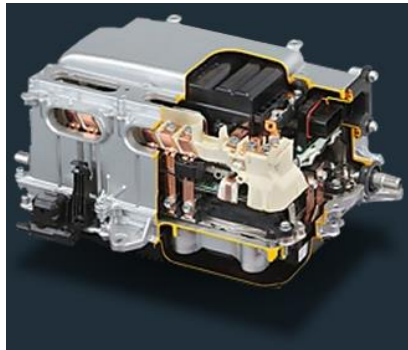
Gambar 2.10 Contoh Hybrid Motor-Generator

2.2.7.2 Engine Control Unit (ECU)

ECU adalah ‘Electronic Control Unit’. Kendaraan modern menggunakan berbagai macam ECU yang bekerja sama atau independen untuk menawarkan, mengontrol dan memonitor banyak fungsi dan kinerja secara keseluruhan.

Tujuan utama dari ECU adalah mengelola mesin kendaraan Anda melalui pengendalian, tidak terbatas pada: bahan bakar untuk campuran udara, kecepatan idle, waktu pengapian, rev limiter, suhu air pendingin, Variabel cam timing (VVT) dan lain-lain

Pada kendaraan dengan sistem *regenerative brake*, ECU juga berfungsi untuk mengatur fungsi *hybrid motor-generator*.



Gambar 2.11 Toyota's Power Control Unit

2.2.7.3 *Inverter*

Inverter adalah komponen pada kendaraan hybrid yang menjadi penghubung antara baterai dan *Hybrid Motor-Generator*. Inverter mengkonversi arus DC dari baterai untuk memutar motor listrik dan sebaliknya inverter mengkonversi arus AC dari generator menjadi arus DC yang kemudian digunakan untuk mengisi baterai.



Gambar 2.12 BOSCH Inverter

2.2.7.4 *Battery*

Baterai (Battery) adalah sebuah alat yang dapat merubah energi kimia yang disimpannya menjadi energi Listrik yang dapat digunakan oleh suatu perangkat Elektronik.



Gambar 2.13 BOSCH baterai

2.2.8 Driving Cycle

Driving Cycle adalah sekumpulan data yang menggambarkan hubungan antara kecepatan dan waktu berkendara. *Driving Cycle* biasa digunakan untuk memprediksi performa kendaraan dan konsumsi bahan bakar. Sebenarnya banyak *driving cycle* yang sering digunakan pada penelitian seperti NEDC buatan Eropa, JC-08 buatan Jepang, FTP 72/75 buatan Amerika, serta yang paling baru WLTP yang dibuat oleh para ahli dari Uni Eropa, Jepang, dan India dengan berdasar pada UNECE World Forum for Harmonization of Vehicle Regulations

Worldwide harmonized Light Vehicles Test Procedure (WLTP) adalah *driving cycle* paling terbaru yang dirilis pada bulan Oktober 2015. WLTP menggantikan posisi NEDC yang dahulu sering digunakan. *Driving Cycle* WLTP memiliki keuntungan antara lain lebih sesuai dengan keadaan mengemudi sebenarnya, lebih banyak macam situasi dalam mengemudi, jarak yang lebih panjang, rata-rata kecepatan dan kecepatan maksimal yang lebih tinggi, rata-rata tenaga dan tenaga maksimal yang lebih tinggi, serta akselerasi dan deselerasi yang lebih dinamis dan representatif.

Prosedur uji memberikan panduan yang ketat mengenai kondisi uji dinamometer dan beban jalan (*motion resistance*), perpindahan gigi, berat mobil total (dengan memasukkan peralatan opsional, kargo dan penumpang), kualitas bahan bakar, suhu lingkungan, dan pemilihan dan tekanan ban.

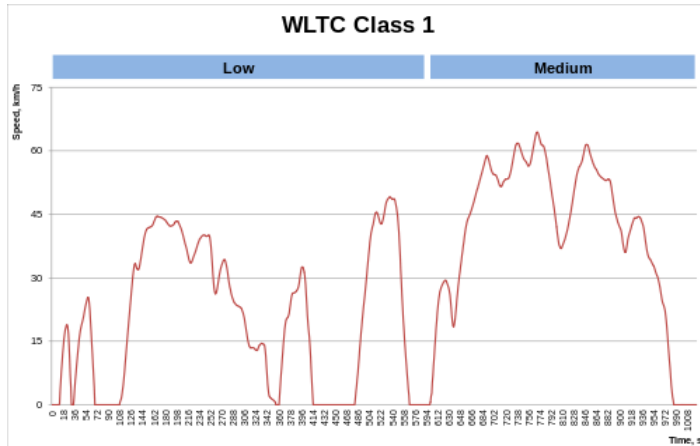
Tiga siklus uji WLTC yang berbeda diterapkan, tergantung pada kelas kendaraan yang didefinisikan oleh rasio bobot daya PW_r dalam kW / Tonne (daya mesin / berat):

Kelas 1 - kendaraan berdaya rendah dengan $PW_r \leq 22$;

Kelas 2 - kendaraan dengan $22 < PW_r \leq 34$;

Kelas 3 - kendaraan berdaya tinggi dengan $PW_r > 34$;

Di setiap kelas, ada beberapa tes mengemudi yang dirancang untuk mewakili operasi kendaraan dunia nyata di jalan perkotaan dan ekstra perkotaan, jalan raya, dan jalan bebas hambatan. Durasi setiap bagian tetap di antara kelas, namun kurva percepatan dan kecepatan dibentuk secara berbeda. Urutan tes selanjutnya dibatasi oleh kecepatan kendaraan maksimum (V_{max}).



Gambar 2.12 *Driving cycle WLTC Class 1*

Tabel 2.1 *Data Driving Cycle WLTP Class 1*

	Low	Medium	Total
Duration, s	589	433	1022
Stop duration, s	155	48	203
Distance, m	3324	4767	8091
% of stops	26.3%	11.1%	19.9%
Maximum speed, km/h	49.1	64.4	
Average speed without stops, km/h	27.6	44.6	35.6
Average speed with stops, km/h	20.3	39.6	28.5
Minimum acceleration, m/s^2	-1.0	-0.6	
Maximum acceleration, m/s^2	0.8	0.6	

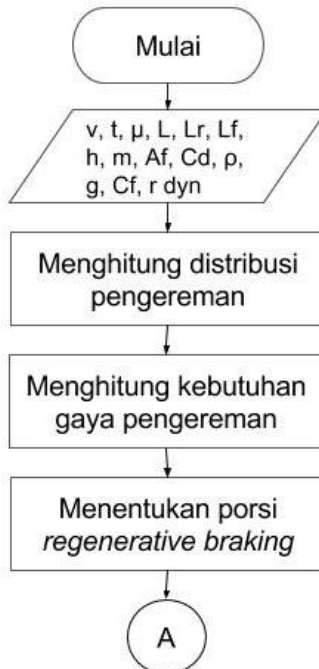
Driving Cycle Class 1 ini meliputi beberapa perlambatan dan percepatan dengan percepatan maksimal sebesar $0,8 \text{ m/s}^2$ dan perlambatan maksimal sebesar 1 m/s^2 . Percepatan yang terjadi pada satu siklus *driving cycle ini* sebanyak 16 kali dan perlambatan yang terjadi sebanyak 12 kali dengan pengereman penuh sebanyak 6 kali.

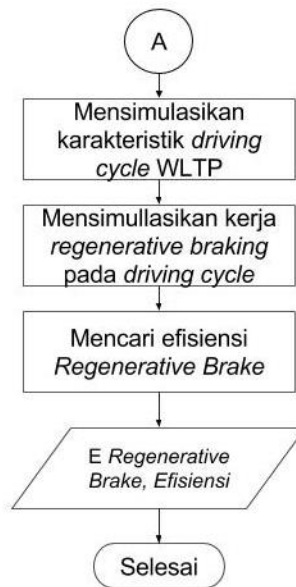
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini akan dilakukan beberapa tahapan untuk menjawab permasalahan yang telah dirumuskan. Pertama melakukan studi mengenai *regenerative brake*. Selanjutnya mencari data yang mendukung penelitian hingga akhirnya didapat hasil yang mampu menjawab perumusan masalah. Penjelasan mengenai prosedur penelitian digambarkan pada suatu flowchart penelitian.

3.1 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Berdasarkan diagram alir pada gambar 3.1, metodologi penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan. Tahapan pertama adalah melakukan studi literatur tentang *regenerative brake* pada kendaraan. Pengumpulan materi dapat dilakukan dari berbagai sumber antara lain penelitian terdahulu, *text book*, jurnal penelitian, *hand book*, dan penelusuran di internet.

Tahapan selanjutnya yaitu menentukan konsep masalah. Materi yang didapatkan dari studi literatur selanjutnya dirumuskan menjadi poin-poin permasalahan. Hasil dari tahapan ini berupa perumusan masalah yang terdapat pada bagian pendahuluan

Tahapan ketiga adalah mengumpulkan data-data yang mendukung penelitian. Data yang diperlukan berkaitan dengan

mobil multiguna pedesaan antara lain dimensi kendaraan serta data yang mempengaruhi gaya yang bekerja pada kendaraan. Selain itu juga diperlukan data berupa *drive cycle* untuk mengetahui perilaku kendaraan saat berjalan.

Tahapan keempat menentukan model pengereman kendaraan. Pada tahap ini dilakukan pemodelan pengereman kendaraan yang hasilnya berupa kurva distribusi pengereman.

Tahap kelima adalah menganalisa porsi pengereman antara rem mekanik dan rem elektrik dari kurva distribusi pengereman dari tahap sebelumnya. Porsi pengereman juga divariasikan dengan koefisien gesek jalan sesuai dengan jalan pada pedesaan pada umumnya. Selain itu ditentukan pula posisi dari *regenerative brake*. Setelah didapat porsi pengereman yang cocok, selanjutnya mencari gaya yang diperlukan untuk proses pengereman kendaraan.

Tahap keenam adalah menganalisa seberapa besar potensi daya yang dapat dibangkitkan oleh sistem *regenerative brake* dan disimpan pada baterai.

Tahap terakhir adalah mencari efisiensi sistem *regenerative brake* dalam membangkitkan energi kinetik yang terbuang dari proses pengereman.

3.1.1 Data Kendaraan

Pada tahap ini dikumpulkan data-data yang diperlukan untuk dimasukkan persamaan. Data berupa dimensi kendaraan dan menghitung gaya yang bekerja pada kendaraan mobil multiguna pedesaan.

Tabel 3.1 Data Spesifikasi Kendaraan

Wheelbase		2590 mm
Track	front	1550 mm
	rear	1440 mm
Ground Clearance		240 mm
Total height		2280 mm
Massa kosong		910 kg
Maksimal muatan		590 kg
Jarak roda depan ke CG		1090 mm
Tinggi CG ke permukaan tanah		860 mm
massa jenis udara		1,2 kg/m ³
koefisien drag kendaraan		0,4
luas frontal kendaraan		2,9088 mm ²
koefisien rolling		0,01
koefisien adhesi jalan		0,9
Diameter roda		594,2 mm

3.1.2 Driving Cycle

Pemilihan *driving cycle* WLTP *Class 1* sesuai dengan standar klasifikasi kendaraan berdasarkan rasio daya kendaraan dengan berat kendaraan sesuai persamaan

$$PWr = \frac{P}{W}$$

Dimana daya (P) dengan satuan kW dan berat (W) dengan satuan ton.

Dari spesifikasi kendaraan yang digunakan yaitu mobil multiguna pedesaan bertenaga listrik dengan daya motor yang digunakan

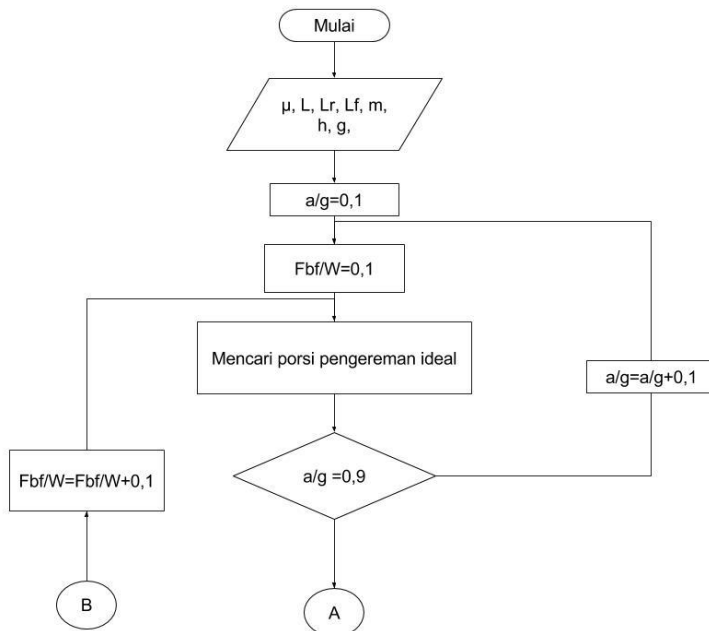
sebesar 25 kW dan berat total kendaraan sebesar 1410 kg, sehingga didapat nilai PWr sebesar :

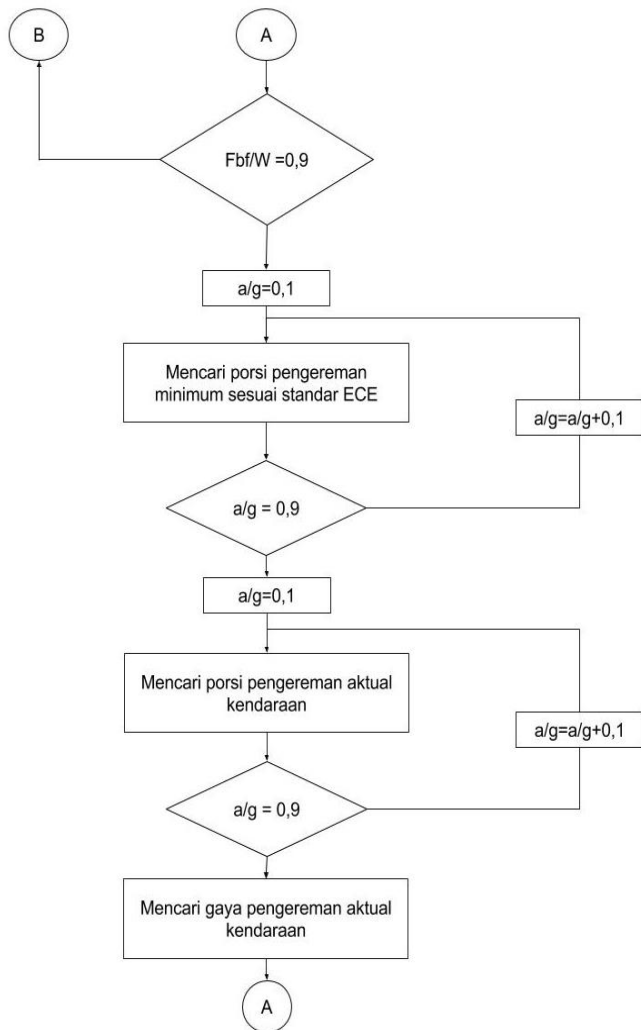
$$PWr = \frac{25}{1,410} = 17,73$$

Sesuai dengan standar yang telah ditetapkan, maka dipilih *driving cycle class 1* karena nilai PWr yang didapat kurang dari 22.

3.2 Diagram Alir Perhitungan

3.2.1 Diagram Alir Perhitungan Gaya dan Porsi Regenerative Brake pada Kendaraan







Gambar 3.2 Diagram Alir Analisa Porsi Pengereman

Dalam mencari porsi pengereman yang baik pada kendaraan perlu dibuat kurva distribusi pengereman. Pengereman yang baik adalah ketika kurva pengereman terletak dibawah kurva pengereman ideal dan diatas kurva standar pengereman ECE. Maka dari itu diperlukan mencari kurva ideal dan kurva standar ECE sebelum menentukan porsi pengereman yang sesuai

Metode perhitungan distribusi pengereman

Untuk menghitung distrbusi pengereman diawali dengan menentukan persamaan W_f dan W_r . Persamaan W_f dan W_r sesuai persamaan 2.4 dan persamaan 2.5 didapat dari prinsip kesetimbangan momen pada kendaraan. Selanjutnya persamaan W_f dan W_r digunakan untuk mendapatkan distribusi pengereman mekanik. Maka harus mengetahui besar gaya pengereman pada masing-masing roda berdasarkan beban normal pada roda kendaraan tersebut, sehingga kita bisa mendapatkan rasio gaya pengereman pada roda terhadap berat kendaraan menggunakan persamaan 2.6 sehingga menjadi persamaan :

$$\frac{Fb_r}{W} = \frac{\left(L_f - \frac{a}{g} \cdot h\right)}{\left(L_r + \frac{a}{g} \cdot h\right)} \cdot \frac{Fb_f}{W} \dots\dots\dots(3.1)$$

Dengan memvariasikan nilai a/g dan Fb_f/W dari 0.1 sd 0.8, maka akan diperoleh kurva pengereman ideal.

Kurva pengereman ideal berfungsi untuk membatasi pengereman maksimum saat mendesain sistem pengereman. Jika

distribusi pengereman berada diatas kurva pengereman ideal maka roda belakang akan terkunci terlebih dahulu dan kendaraan akan kehilangan kestabilan karena kemampuan roda belakang untuk melawan gaya dorong dari samping akan hilang.

Selanjutnya menghitung pengereman minimum kendaraan sesuai standar ECE. ECE menetapkan batas pengereman minimum agar distribusi pengereman tidak terlalu jauh dari kurva pengereman ideal agar roda depan tidak terlalu cepat terkunci. Sesuai regulasi ECE roda bagian depan harus terkunci lebih dahulu dan ketika roda bagian depan terkunci, pengereman pada roda bagian belakang harus memenuhi persamaan 2.10.

Substitusi persamaan 2.10 dan persamaan 2.11 sehingga menjadi :

$$\frac{Fb_f}{W} = \frac{(L_r + \frac{a}{g} h)}{L} \mu \dots\dots\dots(3.2)$$

Selanjutnya substitusi persamaan 3.2 dengan persamaan perlambatan kendaraan yaitu persamaan 2.7 sehingga didapat persamaan rasio pengereman terhadap berat kendaraan sesuai standar regulasi ECE, yaitu

$$\frac{Fb_f}{W} = \frac{\mu}{L} (L_r + (0.1 + 0.85(\mu - 0.2) h) \dots\dots\dots(3.3)$$

$$\frac{Fb_r}{W} \geq (0.1 + 0.85(\mu - 0.2)) - \frac{Fb_f}{W} \dots\dots\dots(3.4)$$

Setelah memasukkan nilai μ ke persamaan 3.3 dan persamaan 3.4 dengan variasi 0.2 sampai 0.8 didapat kurva distribusi pengereman minimum sesuai regulasi ECE.

Untuk distribusi pengereman aktual, pertama dicari gaya pengereman maksimal yang dapat dikerjakan oleh sistem *regenerative brake* yang masih memenuhi batas kurva pengereman ideal dengan batas standar regulasi ECE. Gaya pengereman *regenerative brake* dicari dari torsi motor-generator kendaraan yang didapat dari spesifikasi motor generator.

Setelah itu pengereman dilanjutkan dengan rem mekanik. Rem mekanik yang bekerja didesain dengan mengikuti persamaan 3.5.x

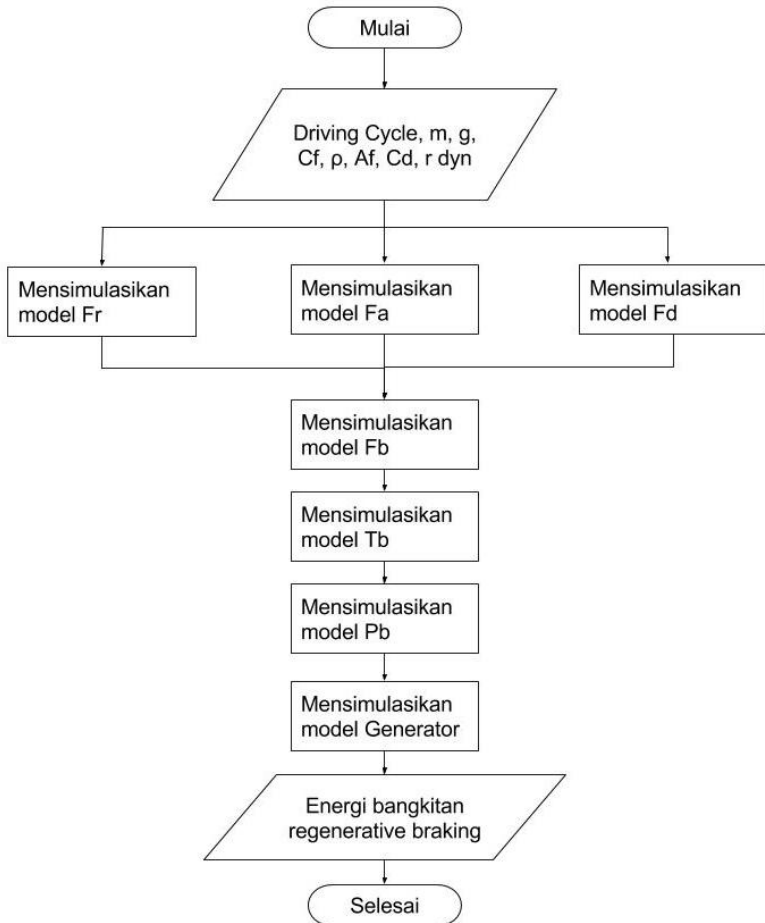
$$Fb_f = W_f \cdot \mu \dots \dots \dots (3.5)$$

Dengan menggunakan nilai W_f dan koefisien gesek lintasan sebesar 0.8, maka kita dapatkan grafik pengereman aktual.

Porsi pengereman mekanik yang telah didapatkan, selanjutnya digunakan untuk mencari gaya pengereman mekanik pada masing-masing roda depan dan roda belakang. Dalam mencari porsi dan gaya pengereman yang baik pada kendaraan, nilai koefisien gesek jalan divariasikan antara 0,5 hingga 0,8 mengikuti kondisi jalan pada pedesaan pada umumnya.

Porsi pengereman yang telah ditentukan selanjutnya digunakan untuk simulasi pada *software* untuk mengetahui berapa energi bangkitan yang mampu diserap sistem *regenerative brake*.

3.2.2 Diagram Alir Analisa Energi Bangkitan Maksimal

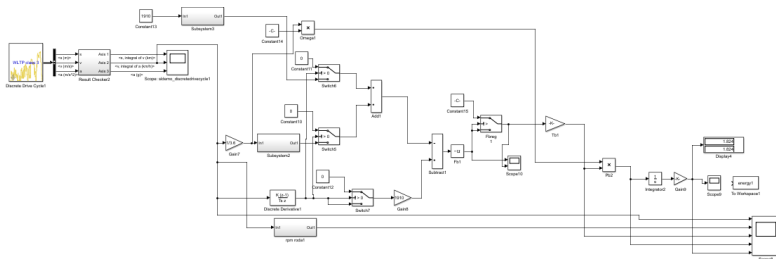


Gambar 3.3 Diagram Alir Mencari Energi Bangkitan Maksimal

Energi bangkitan *regenerative brake* didapat dengan mensimulasikan model dinamikan kendaraan dengan menggunakan software Matlab-Simulink menggunakan *input driving cycle WLTP Class 1*. Agar menghasilkan *output* energi bangkitan, pemodelan disusun sesuai dengan flowchart perhitungan energi bangkitan.

3.2.2.1 Simulasikan Model Kendaraan dengan Karakteristik Driving Cycle

Model yang akan disimulasikan sebagai berikut :



Gambar 3.4 Blok Simulink gabungan

Sesuai analisa dinamika kendaraan saat melakukan perlambatan pada bidang datar, gaya-gaya yang bekerja sesuai persamaan :

$$F_b + F_D + F_r = m a$$

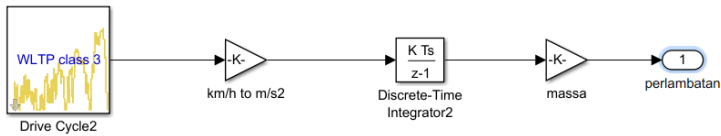
$$F_b = (m \cdot a) - (F_d + F_r) \dots \dots \dots (3.6)$$

- **Gaya Perlambatan**

Gaya perlambatan terjadi akibat adanya massa kendaraan yang terkena efek kendaraan sesuai persamaan :

$$F_a = m a \dots \dots \dots (3.7)$$

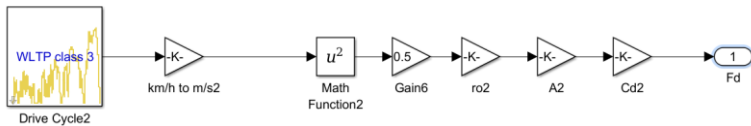
$$a = \frac{dv}{dt} \dots \dots \dots (3.8)$$



Gambar 3.5 Blok Simulink gaya perlambatan

- **Gaya hambat *Drag***

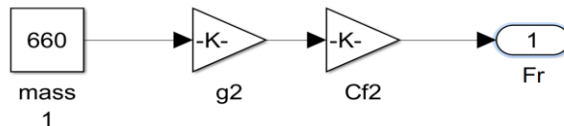
Gaya hambat drag dipengaruhi oleh kecepatan kendaraan sesuai persamaan 2.12.



Gambar 3.6 Blok simulink gaya hambat *drag*

- **Gaya Hambat *Rolling***

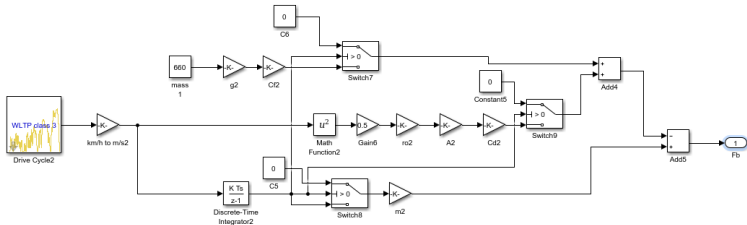
Gaya hambat *rolling* adalah gaya yang terjadi pada ban akibat gesekan dengan jalan dengan persamaan 2.13.



Gambar 3.7 Blok Simulink Gaya Hambat *Rolling*

- **Gaya pengereman kendaraan**

Mengikuti persamaan 3.5 gaya pengereman kendaraan dimodelkan seperti berikut :

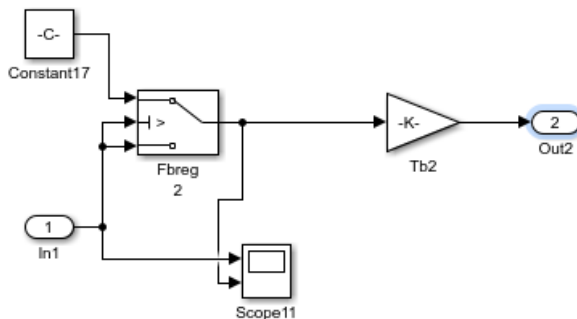


Gambar 3.8 Blok Simulink Gaya pengereman

Blok gaya pengereman yang digunakan pada simulasi juga ditambah blok *switch* dengan aturan saat nilai percepatan (a) lebih besar dari 0 maka nilai F_B sama dengan 0 dan ketika nilai a kurang dari 0 maka nilai F_B merupakan hasil dari blok gaya pengereman diatas. Hal ini bertujuan untuk menghasilkan hanya gaya pengereman saja yang disimulasikan, tidak termasuk gaya traksi kendaraan.

• Torsi Pengereman

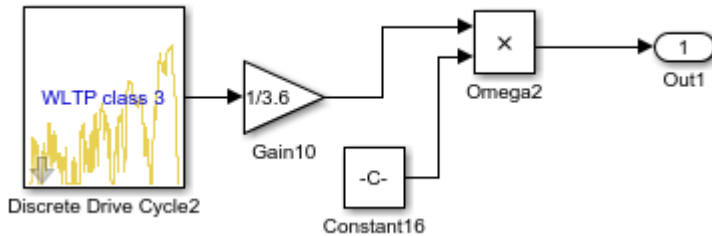
Torsi pengereman didapat dari nilai F_b dikalikan dengan jari-jari dinamis roda dengan persamaan 2.19.



Gambar 3.9 Blok Simulink Torsi Pengereman

- **Putaran Motor**

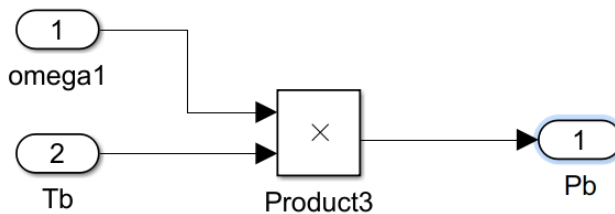
Putaran motor (ω) didapat dari persamaan 2.21.



Gambar 3.10 Blok Simulink Putaran Motor

- **Daya Pengereman**

Nilai daya pengereman berasal dari torsi pengereman dikalikan omega dengan persamaan 2.18

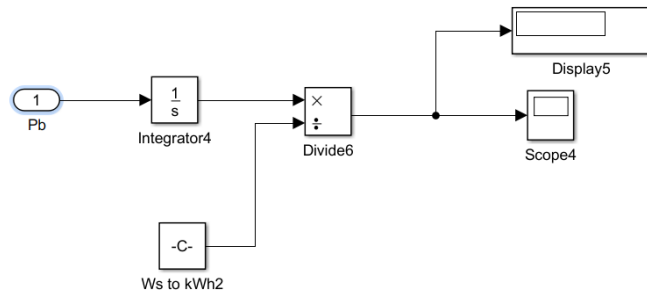


Gambar 3.11 Blok Simulink Daya Pengereman

- **Energi yang Tersedia**

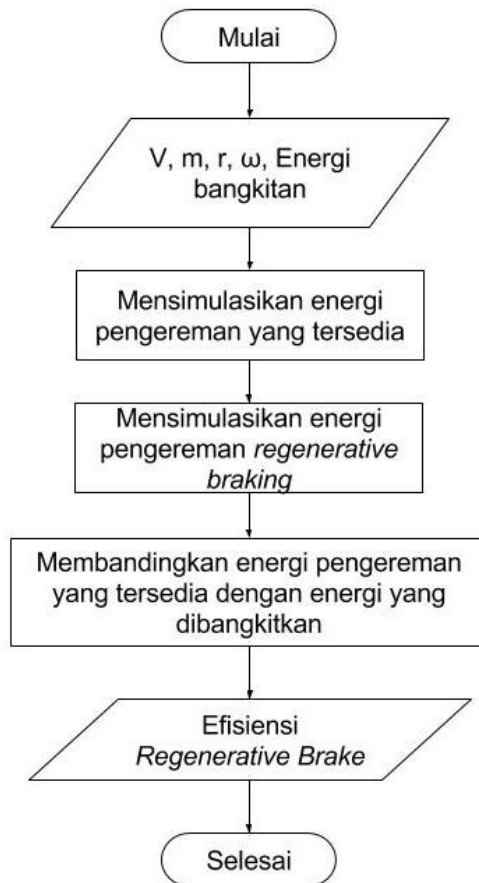
Energi yang tersedia didapatkan dengan mengintegrasikan daya pengereman dengan persamaan :

$$E = \int P_b dt \dots\dots\dots(3.9)$$



Gambar 3.12 Blok Simulink Energi Bangkitan

3.2.3 Diagram Alir Mencari Efisiensi Sistem *Regenerative Brake*



Gambar 3.13 Diagram Alir Mencari Efisiensi Sistem *Regenerative Brake*

Untuk mengetahui berapa besar efisiensi pengereman perlu dibandingkan energi pengereman yang tersedia dengan energi yang diterima generator. Energi pengereman yang tersedia adalah energi yang dibutuhkan sistem pengereman untuk melakukan perlambatan pada kendaraan. Energi pengereman yang tersedia didapat dari simulasi sistem pengereman total dengan *software* Matlab-Simulink.

Selanjutnya energi yang didapat dari simulasi pengereman total dibandingkan dengan energi generator yang didapat dari hasil simulasi pada Simulink-Matlab. Nantinya didapatkan persentase berapa energi yang masuk generator dan dapat dimanfaatkan kembali.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Gaya dan Porsi Pengereman pada Kendaraan

Mencari porsi pengereman yang sesuai dengan kendaraan dengan menggunakan kurva distribusi pengereman. Porsi pengereman yang aman adalah diantara kurva pengereman ideal dan kurva pengereman minimal sesuai standar ECE. Porsi pengereman yang dilakukan kendaraan juga harus mencapai batas kurva koefisien gesek jalan.

Kurva pengereman ideal didapatkan dengan menggunakan persamaan 3.1 dimana nilai a/g dan F_{bf}/W divariasikan dari 0,1 hingga 0,8. Contoh perhitungan sebagai berikut.

$$\frac{Fb_r}{W} = \frac{\left(L_f - \frac{a}{g} \cdot h\right)}{\left(L_r + \frac{a}{g} \cdot h\right)} \cdot \frac{Fb_f}{W}$$
$$\frac{Fb_r}{W} = \frac{(1,09 - 0,1 \cdot 0,86)}{(1,5 + 0,1 \cdot 0,86)} \cdot 0,1$$
$$\frac{Fb_r}{W} = 0,0633$$

Didapatkan porsi pengereman ideal pada setiap nilai a/g dan F_{bf}/W sebagai berikut.

Tabel 4.1 Porsi Pengereman Ideal

a/g	Fbf/W	a/g	Fbr/W
0	0	0	0
0,1	0,1	0,1	0,063304
0,2	0,2	0,2	0,109809
0,3	0,3	0,3	0,14198
0,4	0,4	0,4	0,161822
0,5	0,5	0,5	0,170984
0,6	0,6	0,6	0,170833
0,7	0,7	0,7	0,162512
0,8	0,8	0,8	0,146984
0,9	0,9	0,9	0,125066

Selanjutnya mencari kurva batas pengereman ECE dengan menggunakan persamaan 3.3 untuk mendapatkan nilai F_{bf}/W dengan contoh perhitungan :

$$\frac{Fb_f}{W} = \frac{\mu}{L} (L_r + (0.1 + 0.85(\mu - 0.2) h))$$

$$\frac{Fb_f}{W} = \frac{0,4}{2,59} (1,5 + (0.1 + 0.85(0,4 - 0.2) 0,86))$$

$$\frac{Fb_f}{W} = 0,2675$$

Dan mencari nilai F_{br}/W dengan persamaan 3.4 dengan contoh perhitungan :

$$\frac{Fb_r}{W} = (0.1 + 0.85(\mu - 0.2)) - \frac{Fb_f}{W}$$

$$\frac{Fb_r}{W} = (0.1 + 0.85(0,4 - 0.2)) - 0,2675$$

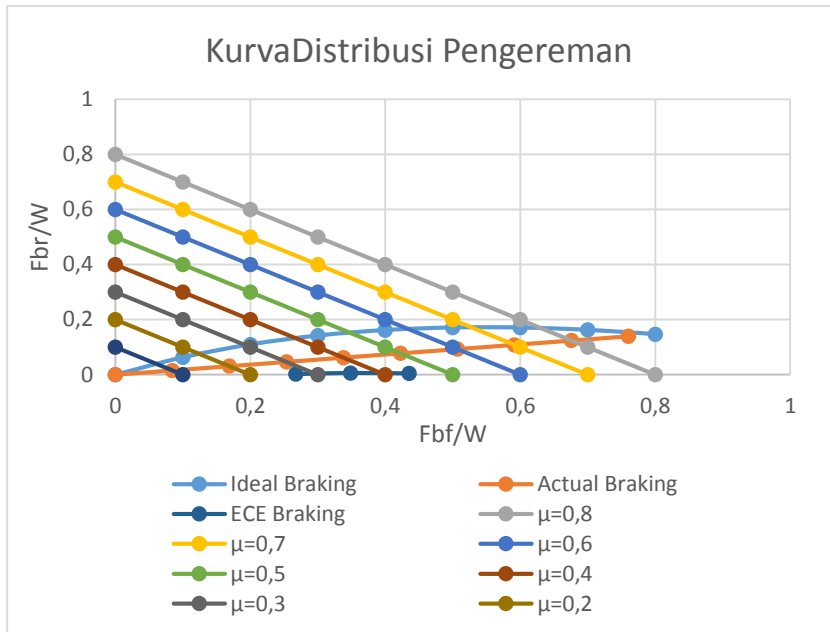
$$\frac{Fb_r}{W} = 0,0024$$

Nilai μ yang digunakan divariasikan antara 0,1 sampai 0,8. Nilai porsi pengereman minimal sesuai standar ECE dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Porsi Pengereman Standar Minimal ECE

a/g	Fbf/W	Fbr/W
0	0	0
0,1	0,058413	-0,04341
0,2	0,122471	-0,02247
0,3	0,192174	-0,00717
0,4	0,267521	0,002479
0,5	0,348514	0,006486
0,6	0,435151	0,004849
0,7	0,527432	-0,00243
0,8	0,625359	-0,01536
0,9	0,728931	-0,03393

Kurva pengereman pada mobil multiguna pedesaan ini sesuai dengan gambar 4.1.



Gambar 4.1 Kurva distribusi Pengereman Mobil Multiguna Pedesaan

Sesuai kurva diatas porsi pengereman dirancang diantara kurva pengereman ideal dan kurva pengereman ECE. Sistem *regenerative brake* dirancang pada roda bagian depan dan dilakukan pada awal pengereman. Porsi pengereman *regenerative brake* didapat dari kemampuan motor-generator yang digunakan dengan spesifikasi torsi motor-generator 390 Nm.

$$Fb = \frac{I_t \times I_g \times T_m}{r} \eta$$

$$Fb = \frac{1,875 \times 4,9 \times 390}{0,33} 0,9$$

$$Fb = 9775,97 \text{ N}$$

$$\frac{Fb}{W} = \frac{9775,97}{18731,1}$$

$$\frac{Fb}{W} = 0,5217$$

Akan tetapi porsi pengereman *regenerative brake* yang digunakan pada kondisi tertentu tidak bisa mencapai nilai 0,5217 agar menjaga proses pengereman kendaraan tetap aman. Sehingga pada proses pengereman kendaraan pada kondisi jalan dengan nilai koefisien gesek jalan antara 0,5-0,8 sesuai tabel 4.1.

Tabel 4.3 Porsi Pengereman Kendaraan Regeneratif Roda Depan

μ	Fb reg/W	Fbf/W	Fbr/W
0,5	0,422394	0	0,077606
0,6	0,506873	0	0,093127
0,7	0,521744	0,069607	0,108649
0,8	0,521744	0,154086	0,12417

Dari porsi pengereman sesuai tabel diatas dapat diketahui porsi rem mekanis pada koefisien gesek jalan 0,5 dan 0,6 tidak ada, pengereman pada roda depan sepenuhnya dengan pengereman regeneratif. Sementara pada koefisien gesek jalan 0,7 dan 0,8 porsi pengereman regeneratif maksimal ditambah porsi pengereman mekanis. Untuk porsi pengereman roda belakang sesuai dengan porsi yang telah ditentukan sebelumnya.

Nilai gaya pengereman yang dibutuhkan pada masing-masing roda depan dan roda belakang serta *regenerative brake* dengan mengalikan porsi pengereman dengan berat mobil sehingga didapat nilai gaya pengereman.

$$\frac{Fbf}{W} = 0,154$$

$$Fbf = 0154 \times 18737,1$$

$$Fbf = 2887,126 \text{ N}$$

Selanjutnya nilai gaya pengereman didapat sesuai tabel 4.4.

Tabel 4.4 Gaya Pengereman Kendaraan Regeneratif Roda Depan

μ	Fb reg (N)	Fbf (N)	Fbr (N)
0,5	7914,435	0	1454,115
0,6	9497,322	0	1744,938
0,7	9775,97	1304,239	2035,761
0,8	9775,97	2887,126	2326,584

Akan tetapi penempatan *regenerative brake* jika disesuaikan dengan kondisi aktual mobil multiguna pedesaan yang berpengerak roda belakang, maka motor terhubung dengan roda belakang sehingga *regenerative brake* juga terdapat pada roda belakang. Porsi pengereman kendaraan dengan *regenerative brake* pada roda belakang didapatkan sesuai dengan tabel 4.5

Tabel 4.5 Porsi Pengereman Kendaraan Regeneratif Roda Belakang

μ	Fb reg/W	Fbf/W	Fbr/W
0,5	0,077606	0,422394	0
0,6	0,093127	0,506873	0
0,7	0,108649	0,591351	0
0,8	0,12417	0,67583	0

Porsi *regenerative braking* pada roda belakang jauh lebih kecil daripada porsi *regenerative braking* pada roda depan dikarenakan porsi pengereman yang didesain lebih besar pada roda depan dibandingkan pada roda belakang. Akibatnya pada porsi pengereman roda belakang tidak diperlukan pengereman mekanis karena porsi pengereman roda belakang sudah dipenuhi oleh *regenerative brake*.

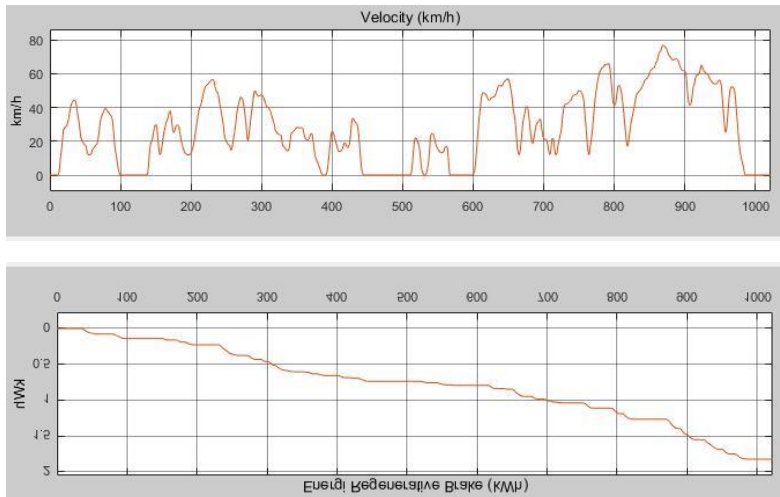
Selanjutnya gaya pengereman *regenerative brake* serta mekanis yang digunakan sesuai tabel 4.6.

Tabel 4.4 Gaya Pengereman Kendaraan Regeneratif Roda Belakang

μ	Fb reg/W	Fbf/W	Fbr/W
0,5	1454,115	7914,435	0
0,6	1744,938	9497,322	0
0,7	2035,761	11080,21	0
0,8	2326,584	12663,1	0

4.2 Analisa Energi Bangkitan Maksimal Kendaraan

Energi bangkitan maksimal yang mampu diserap kendaraan didapat dari simulasi pada *software* Matlab-Simulink sesuai blok-blok Simulink pada bab 3. Energi bangkitan yang dapat diserap sistem *regenerative brake* dapat dilihat pada gambar 4.2. Porsi yang digunakan sesuai dengan porsi *regenerative brake* pada roda belakang dengan koefisien gesek jalan 0,8 sebesar 0,1241.



Gambar 4.2 Energi bangkitan *regenerative brake*

Sesuai grafik diatas, energi bangkitan total yang mampu diserap dari hasil simulasi sebesar 1,824 kWh pada satu siklus *driving cycle* WLTP kelas 1. Selanjutnya energi yang dapat disimpan pada baterai harus melewati generator untuk diubah menjadi energi listrik. Generator yang digunakan memiliki efisiensi sebesar 95% sehingga energi yang mampu diserap dan disimpan pada baterai sebesar

$$E = 1,824 \text{ kWh} \times 0,95$$

$$E = 1,7328 \text{ kWh}$$

4.3 Mencari Efisiensi Sistem *Regenerative Brake*

Mencari nilai efisiensi sistem *regenerative brake* terlebih dulu mencari energi pengereman total yang digunakan dalam proses pengereman kendaraan. Energi pengereman total dapat diketahui dari hasil simulasi dari hasil simulasi Matlab dengan blok Matlab *regenerative brake* dengan porsi keseluruhan pengereman. Hasil simulasi didapat grafik pada gambar 4.3 dibawah ini.



Gambar 4.3 Energi Pengereman

Pada gambar diatas, grafik biru menunjukkan energi pengereman keseluruhan yang digunakan untuk perlambatan kendaraan sementara grafik hijau merupakan energi *regenerative brake* yang mampu diserap sistem sesuai porsi *regenerative brake* yang telah didesain. Total energi pengereman yang tersedia sebesar 3,359 kWh sementara energi yang diserap dari perhitungan sebelumnya sebesar 1,7328 kWh.

$$Efisiensi = \frac{1,7328}{3,359}$$

$$Efisiensi = 0,5174$$

Didapat efisiensi sistem *regenerative brake* sebesar 51,74 %

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pada tugas akhir ini, kesimpulan dari analisa sistem *regenerative brake* pada mobil multiguna pedesaan bertenaga listrik adalah:

1. Porsi *regenerative braking* pada mobil multiguna pedesaan bertenaga listrik bervariasi sesuai dengan koefisien gesek jalan antara 0,0776 pada koefisien gesek jalan 0,5 hingga 0,1241 pada koefisien gesek jalan 0,8. Porsi pengereman mekanis pada roda depan juga bervariasi mengikuti koefisien gesek jalan. Sementara porsi pengereman mekanis pada roda belakang tidak diperlukan.

Tabel 5.1 Porsi pengereman kendaraan

μ	Fb reg/W	Fbf/W	Fbr/W
0,5	0,077606	0,422394	0
0,6	0,093127	0,506873	0
0,7	0,108649	0,591351	0
0,8	0,12417	0,67583	0

Tabel 5.2 Gaya pengereman kendaraan

μ	Fb reg/W	Fbf/W	Fbr/W
0,5	1454,115	7914,435	0
0,6	1744,938	9497,322	0
0,7	2035,761	11080,21	0
0,8	2326,584	12663,1	0

2. Energi bangkitan yang mampu dibangkitkan sistem *regenerative brake* dan disimpan pada baterai dalam satu

siklus *driving cycle* WLTP kelas 1 adalah sebesar 1,738 kWh pada koefisien gesek jalan 0,8 .

3. Efisiensi sistem *regenerative brake* yang dirancang pada mobil mutlguna pedesaan bertenaga listrik ini sebesar 51,74%

5.2 Saran

Saran yang bisa diajukan setelah pengerjaan tugas akhir kali ini adalah :

1. Sebaiknya didesain juga sistem kontrol yang mampu mengatur porsi pengereman sesuai dengan koefisien gesek jalan.
2. Pada penelitian selanjutnya, sebaiknya generator yang sudah ada dibandingkan dengan generator lain untuk membandingkan besar energi bangkitan pada tiap generator.
3. Sebaiknya mendesain *regenerative brake* jika memungkinkan digunakan pada roda depan, karena prosi pengereman kendaraan lebih besar pada roda depan, sehingga energi yang dapat dibangkitkan lebih besar pula.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BKKBN., 2016. **Laju Pertumbuhan Penduduk Empat Juta Per Tahun**, <<https://www.bkkbn.go.id/detailpost/laju-pertumbuhan-penduduk-4-juta-per-tahun>>.
- [2] *Murdianto, Oki Bayu.* 2014. **“Pengembangan Model ‘Regenerative Brake’ pada Sepeda Listrik untuk Menambah Jarak Tempuh”**, Laporan Tugas Akhir. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [3] *Wijaya, Gito.* 2014. **“Analisa Gaya Pengereman dan Energi yang Dibangkitkan dengan Porsi Regenerative Brake”**. Laporan Tugas Akhir. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [4] *Baradwadya, Christopher Resza.* 2016. **“Analisa Pengaplikasian Sistem ‘KERS’ pada Bus Transjakarta dengan Sistem Penyimpanan pada Baterai”**. Laporan Tugas Akhir. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [5] Zheng, Liang., 2012. **New Generations of Electric Vehicles**. China. Harbin Institute of Technology ShenZhen.
- [6] Ingram, Anthony., 2013. **Ford : Regenerative Braking Has Saved 100 Million Gallons of Gas**, <https://www.greencarreports.com/news/1084850_ford-regenerative-braking-has-saved-100-million-gallons-of-gas>.
- [7] Patil, Siddhart K., Oct. 2012 **“Regenerative Braking System in Automobiles”**, India. Vishwakarma Institute of Information Technology.

- [8] *Ehsani, Mehrad.*, 2010. “**Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles Fundamental, Theory, and Design Second Edition**”. USA. CRC Press
- [9] *Sutantra, I Nyoman.* 2015. “**Teknologi Otomotif Hybrid, Institut Teknologi Sepuluh Nopember**”. Surabaya: Guna Widya.
- [10] *Sutantra, I. Nyoman., Sampurno, Bambang.* 2010. “**Teknologi Otomotif Edisi Kedua, Institut Teknologi Sepuluh Nopember**”. Surabaya: Guna Widya.

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Ujung Pandang pada tanggal 19 Agustus 1995 dan merupakan anak pertama dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal pada sekolah dasar SDN Klender 03 Pagi (2000-2006). Selanjutnya melanjutkan pendidikan pada SMPN 255 Jakarta (2007-2010) dan SMAN 61 Jakarta (2010-2013). Setelah menyelesaikan pendidikan SMA, penulis melanjutkan pendidikan pada Departemen Teknik Mesin S1 Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2013 dan menyelesaikan studinya pada 2018.

Penulis aktif dalam kegiatan akademik maupun organisasi selama perkuliahan. Tercatat dalam organisasi, penulis mengikuti organisasi mahasiswa Himpunan Mahasiswa Mesin tahun 2014 sebagai staff, dan pada tahun 2015 sebagai Kabiرو Kelembagaan Departemen Hubungan Luar HMM. Selain itu penulis pernah mengikuti beberapa pelatihan pengembangan kepribadian baik dari Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri serta tingkat institut yang diadakan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Penulis mempunyai prinsip bahwa kesuksesan bukan ditunggu, melainkan harus dikejar. Dan kesuksesan bukan factor dari diri kita sendiri, melainkan dari Allah swt, orangtua, dan orang-orang tercinta. Apabila ada keluh kesah mengenai tugas akhir ini atau yang lain bisa menghubungi penulis lewat email: dipta.bp@gmail.com

(Halaman ini sengaja dikosongkan)